

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

特開平8-175404
(43) 公開日 平成8年 (1996) 7月9日

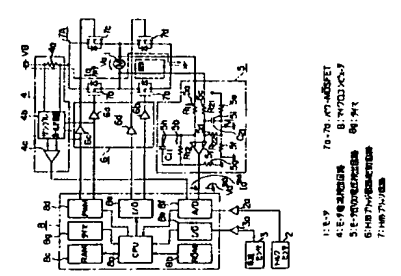
(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 6 2 D 5/04 6/00 H 0 2 P 5/06 // B 6 2 D 101:00 113:00	R			
(21) 出願番号	特願平6-318350	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 喜福 隆之 姫路市千代田町840番地 三菱電機株式会社 社姫路製作所内	審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 24 頁)
(22) 出願日	平成5年 (1994) 12月21日	(72) 発明者	和田 俊一 姫路市千代田町840番地 三菱電機株式会社 社姫路製作所内	
		(74) 代理人	弁理士 曾我 達昭 (外 6 名)	

(54) 【発明の名称】 電動パワーステアリング装置

(57) 【要約】

【目的】 新たにセンサを設けたり、処理速度の速いCPUを用いたりする事によるコストアップを避けることと、ハンドル戻り、粘性感、慣性感、フリクション感等の操舵フィーリングを向上させた電動パワーステアリング装置を得ることを目的とする。

【構成】 トルクセンサ2の出力に基づいて静的な操舵トルクを補助するとともに、モータ1のPWM駆動に伴う矩形波成分を除去可能なモータ印加電圧検出回路5を備え、該回路5の出力からモータ角速度 ω を推定し、モータ角速度 ω から帯域通過特性を有する微分手段によってモータ角加速度 $d\omega/dt$ を推定し、モータ角速度 ω に基づいて摩擦を、モータ角加速度 $d\omega/dt$ に基づいて慣性をモーメントを補償する。



(2) (1) 【特許請求の範囲】

- 【請求項1】 操舵系に連結されたモータと、このモータをPWM駆動制御するPWM制御手段と、遮断周波数がPWM搬送波周波数よりも低い低域通過特性を有し、検出した前記モータの印加電圧を所定電圧レベルに変換して出力するモータ印加電圧検出手段と、検出されたモータ印加電圧に基づいて前記モータの角速度を推定する角速度推定手段と、角速度推定結果に基づいて前記モータの電流値を演算する電流値演算手段とを備えたことを特徴とする電動パワーステアリング装置。
- 【請求項2】 操舵系に連結されたモータと、このモータをPWM駆動制御するPWM制御手段と、遮断周波数がPWM搬送波周波数よりも低い低域通過特性を有し、検出した前記モータの端子電圧を所定電圧レベルに変換して出力するモータ端子電圧検出手段と、検出されたモータ端子電圧に基づいて前記モータの角速度を推定する角速度推定手段と、角速度推定結果に基づいてモータ電流値を演算する電流値演算手段とを備えたことを特徴とする電動パワーステアリング装置。
- 【請求項3】 モータ角速度推定値を、モータに通過する電流に基づいて所定の値以下にクリップすることを特徴とする請求項1または2に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項4】 モータ角速度推定値を、操舵トルクに基づいて所定の値以下にクリップすることを特徴とする請求項1または2に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項5】 モータ角速度推定値を、モータ角速度推定値の演算結果が所定の値以下の場合に零にクリップすることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項6】 モータ角速度推定値を所定のカットオフ周波数以上でハイパスフィルタ処理を施すことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項7】 モータ角速度推定値を微分処理してモータ角加速度を推定することを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項8】 微分処理は帯域通過特性を有することを特徴とする請求項7に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項9】 モータ角速度推定値は、微分処理時の帯域通過特性の高域遮断周波数と略同一の遮断周波数を有するローパスフィルタ処理を施すことを特徴とする請求項8に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項10】 モータ角速度推定値の演算結果が所定の値以下の場合にはこの推定値を零にクリップすることを特徴とする請求項7ないし9のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項11】 モータ角速度推定値をステアリング制御系に正帰還し、正帰還に基づいて通過するモータ電流

- (2) 特開平8-175404
- を、ステアリング系の摩擦に基づく所定の値以下にクリップすることを特徴とする請求項3ないし10のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項12】 モータ角速度推定値の正帰還に基づいて通過するモータ電流をクリップする電流値またはモータ角速度の正帰還ゲインを、上記モータ角速度推定値と車速の少なくともいずれか1つに基づいて変化させることを特徴とする請求項11に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項13】 モータ角速度推定値の正帰還に基づいて通過するモータ電流を立ち上がり時に増加させる微分手段を備えたことを特徴とする請求項1ないし12のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項14】 モータ角速度推定値を自帰還することにより角速度に基づくステアリング制御を行うことを特徴とする請求項3ないし10のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項15】 モータ角速度推定値の自帰還ゲインを、上記モータ角速度推定値と車速の少なくともいずれか1つに基づいて変化させることを特徴とする請求項14に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項16】 上記モータ角速度推定値を正帰還することにより上記角速度に基づくステアリング制御を行うことを特徴とする請求項3ないし10のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。
- 【請求項17】 上記モータ角速度推定値の正帰還ゲインを、上記モータ角速度推定値と車速の少なくともいずれか1つに基づいて変化させることを特徴とする請求項16に記載の電動パワーステアリング装置。
- 【発明の詳細な説明】
- 【0001】
- 【産業上の利用分野】 この発明は、モータにより操舵補助トルクを発生する電動パワーステアリング装置に関するものである。
- 【0002】
- 【従来の技術】 従来、電動パワーステアリング装置においては、操舵系の操舵トルクを検出するトルクセンサと車速を検出する車速センサを設け、それらの出力に基づいてモータのアシストトルクを制御していた。また最近では、さらに操舵フィーリングを改善するために、それに加えてモータの角速度や角加速度に基づいてステアリング系の慣性、粘性等を補償する制御方法が提案されている。
- 【0003】 上記の如くモータ角速度や角加速度に基づいた制御を行う場合には、モータの角速度あるいは角速度を検出するセンサを設ける事が一般的である。しかし新たにセンサを設けることはコストアップにつながるため、好ましくない。そこで、モータの過電圧を推定することにより、角速度信号を得る方法が提案されている。

たと、このモータをPWM駆動制御するPWM制御手段と、遮断周波数がPWM搬送波周波数よりも低い低域通特性を有し、検出した前記モータの印加電圧を所定電圧レベルに変換して出力するモータ印加電圧検出手段と、検出されたモータ印加電圧に基づいて前記モータの角速度を推定する角速度推定手段と、角速度推定結果に基づいて前記モータの電流値を算する電流値算手段とを備えたものである。

【0035】請求項2の発明に係る電動パワーステアリング装置は、検電系に連結されたモータと、このモータをPWM駆動制御するPWM制御手段と、遮断周波数がPWM搬送波周波数よりも低い低域通特性を有し、検出した前記モータの端子電圧を所定電圧レベルに変換して出力するモータ端子電圧検出手段と、検出されたモータ端子電圧に基づいて前記モータの角速度を推定する角速度推定手段と、角速度推定結果に基づいてモータ電流値を算する電流値算手段とを備えたものである。

【0036】請求項3の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1または2に記載の発明においてモータ角速度推定値を、モータに流通する電流に基づいて所定の値以下にクリップする。

【0037】請求項4の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1または2に記載の発明においてモータ角速度推定値を、検電トルクに基づいて所定の値以下にクリップする。

【0038】請求項5の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1ないし4のいずれかに記載の発明においてモータ角速度推定値を、モータ角速度推定値の算結果が所定の値以下の場合に零にクリップする。

【0039】請求項6の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1ないし5のいずれかに記載の発明においてモータ角速度推定値を所定のカットオフ周波数以上でハイパスフィルタ処理をする。

【0040】請求項7の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1ないし6のいずれかに記載の発明においてモータ角速度推定値を微分処理してモータ角速度を推定する。

【0041】請求項8の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項7に記載の発明において微分処理は帯域通特性を有する。

【0042】請求項9の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項8に記載の発明においてモータ角速度推定値は、微分処理時の帯域通特性の高域遮断周波数と略同一の遮断周波数を有するローパスフィルタ処理を施す。

【0043】請求項10の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1ないし9のいずれかに記載の発明においてモータ角速度推定値の算結果が所定の値以下の場合にはこの推定値を零にクリップする。

【0044】請求項11の発明に係る電動パワーステア

リング装置は、請求項3ないし10のいずれかに記載の発明においてモータ角速度推定値をステアリング制御系に正帰還し、正帰還に基づいて流通するモータ電流を、ステアリング系の摩擦に基づく所定の値以下にクリップする。

【0045】請求項12の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項11に記載の発明においてモータ角速度推定値の正帰還に基づいて流通するモータ電流をクリップする電流値またはモータ角速度の正帰還ゲインを、上記モータ角速度推定値と車速の少なくともいずれか1つに基づいて変化させる。

【0046】請求項13の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項11または12に記載の発明においてモータ角速度推定値の正帰還に基づいて流通するモータ電流を立ち上がり時に増加させる微分手段を備える。

【0047】請求項14の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項3ないし10のいずれかに記載の発明においてモータ角速度推定値を角帰還することにより角速度に基づくステアリング制御を行う。

【0048】請求項15の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項14に記載の発明においてモータ角速度推定値の角帰還ゲインを、上記モータ角速度推定値と車速の少なくともいずれか1つに基づいて変化させる。

【0049】請求項16の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項3ないし10のいずれかに記載の発明において上記モータ角速度推定値を正帰還することにより上記角速度に基づくステアリング制御を行う。

【0050】請求項17の発明に係る電動パワーステアリング装置は、請求項16に記載の発明において上記モータ角速度推定値の正帰還ゲインを、上記モータ角速度推定値と車速の少なくともいずれか1つに基づいて変化させる。

【0051】[作用] 請求項1の発明における電動パワーステアリング装置は、PWM搬送波周波数よりも低い遮断周波数の低域通特性を有する回路にて矩形成分を除去してモータ印加電圧を検出し、このモータ印加電圧検出値に基づいてモータ角速度 ω を推定する。

【0052】請求項2の発明における電動パワーステアリング装置は、PWM搬送波周波数よりも低い遮断周波数の低域通特性を有する回路にて矩形成分を除去してモータ端子電圧を検出し、このモータ端子電圧検出値に基づいてモータ角速度 ω を推定する。

【0053】請求項3の発明における電動パワーステアリング装置は、モータの電線系抵抗に含まれる雑音がモータ角速度推定値に与える影響を抑えるため、モータ電流に基づいてモータ角速度推定値を所定の値以下にクリ

ップしてモータ角速度推定値のオフセット成分を除去する。

【0054】請求項4の発明における電動パワーステアリング装置は、モータが検電系に直接接続されており、検電トルクが大きい場合にはモータ角速度が小さいと考えられるため、検電トルクに基づいてモータ角速度推定値を所定の値以下にクリップすることによりモータ角速度推定値のオフセット成分を除去する。

【0055】請求項5の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値の算結果が所定の値以下の場合にはモータ角速度推定値を零にクリップすることにより、モータ角速度推定値のオフセット成分を除去する。

【0056】請求項6の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値をハイパスフィルタ処理することにより、モータ角速度推定値のオフセット成分を除去する。

【0057】請求項7の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値を微分処理することにより、モータ角速度を推定する。

【0058】請求項8の発明における電動パワーステアリング装置は、微分処理に帯域通特性を持たせることにより、モータの慣性感の問題となる周波数帯域では20dB/decの微分特性を持たせるとともに、モータ角速度推定値の雑音を抑える。

【0059】請求項9の発明における電動パワーステアリング装置は、微分処理の帯域通特性の高域遮断周波数と略同一の遮断周波数を有するローパスフィルタ処理を施すことによって、微分処理の帯域通特性の高域遮断特性によりモータ角速度推定値が高域帯域でモータ角速度推定値に対して位相が遅れることを防止する。

【0060】請求項10の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値の算結果が所定の値以下の場合にはモータ角速度推定値を零にクリップすることにより、モータ角速度推定値に含まれる雑音成分を除去する。

【0061】請求項11の発明における電動パワーステアリング装置は、算算されたモータ角速度推定値をステアリング制御系に正帰還し、正帰還に基づいて流通するモータ電流をステアリング系の摩擦に基づく所定の値以下にクリップすること、ステアリング系のクーロン摩擦を補償して低車速時のハンドル戻りやフリクション感を改善する。

【0062】請求項12の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値の正帰還に基づいて流通するモータ電流をクリップする電流値、又はモータ角速度推定値の正帰還ゲインをモータ角速度推定値に含ませることで、モータ角速度推定値に含まれる雑音が制御に影響を与えることを防止できると共に、自然な検電フィードバックを実現し、且つ、車速に基づ

づいて変化させることで、低車速域でのハンドル戻りを改善できるとともに、高車速域でのハンドル戻り時の収斂性の劣化を防止する。

【0063】請求項13の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値の正帰還に基づいて流通するモータ電流を、立ち上がり時に増加させる微分手段を備えることによりステアリング系の角速度推定値を補償し、低車速時のハンドル戻りやフリクション感を改善する。

【0064】請求項14の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値をステアリング制御系に角帰還することによりステアリング系の粘性摩擦を補償し、検電フィードバックに粘性感を与えるとともに、特に高車速時に悪化するハンドル戻り時の収斂性を改善する。

【0065】請求項15の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値の角帰還ゲインをモータ角速度推定値に基づいて変化させることでフリクション感の劣化を防止し、車速に基づいて変化させることで低車速域でのハンドル戻りの劣化を防止する。

【0066】請求項16の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値をステアリング制御系に正帰還することにより、特にステアリング系の慣性モーメントを補償し、慣性感を軽減する。

【0067】請求項17の発明における電動パワーステアリング装置は、モータ角速度推定値の正帰還ゲインを、モータ角速度に基づいて変化させることでセンタ付近でのハンドルのふらつきを抑え、車速に基づいて変化させることで車速に関係なく高域帯域の検電フィードバックを実現する。

【0068】

【実施例】

実施例1. 以下、この発明の一実施例を図について説明する。図1はこの実施例における電動パワーステアリング装置のコントロール部7のブロック構成図である。尚、図中、図41と同一符号は同一又は相当部分を示す。図において、2aはトルクセンサ2を後述のA/D変換器8 fに入力するためのトルクセンサ入力Fであり、直流増幅と位相補償を行っている。3aは車速センサ3を後述の入出力ポート8 eに入力するための車速センサ入力1/Fである。

【0069】4はモータ1に流通される電流を所定の電圧に変換して後述のA/D変換器8 fに入力するためのモータ電流検出回路であってモータ電流を電圧に変換する電流検出抵抗器4 a、電流検出抵抗器4 aの両端の電圧を力増倍にサンプリングし、再生時にホールドし、増幅回路4 cで電圧増倍するサンプリング回路4 bより構成されている。

【0070】5はモータ1を駆動するPWM搬送波周波数よりも低い所定の低域通特性を有し、モータ1の端

機子抵抗 R_a の誤差によるモータ角速度推定値 ω のオフセットを簡単に効果的に除去することができる。
【0100】モータ角速度演算手段12では、モータ角速度演算手段11にて演算されたモータ角速度推定値 ω から、モータ角速度推定値 $d\omega/dt$ を演算している。これを図9のプロローチャートと図10のブロック図に基づいて説明する。なお、図10のブロック図は、図9のプロローチャートのうち、S92～S94をブロック図で表現したものである。

【0101】最初に、S91でモータ角速度推定値 ω を読み込み、S92でモータ角速度推定値 ω を所定の週漸周波数 f_c 1でハイパスフィルタ処理する。次にS93でS92の演算結果にゲイン K_2 を乗じ、さらにS94でS93の演算結果を所定の週漸周波数 f_c 2でローパスフィルタ処理し、 $d\omega/dt$ を得る。最後にS95で $d\omega/dt$ をRAM8cにストアする。

【0102】以上の演算により、図11の周波数特性が得られる。すなわち、 f_c 1をステアリング系に必要とされる応答周波数近傍（例えば5Hz）に設定しておけば、モータの慣性感の問題となる周波数帯域では20dB/decの感度特性を持たせることができ、さらに f_c 2をステアリング系の剛性不要帯域（例えば5Hz以上）を遮断するように設定しておけば、同時にモータ角速度推定値 $d\omega/dt$ の雑音を抑えることが可能となる。

【0103】なお、モータ角速度演算手段12にてゲインをかせぐ必要がない場合には、ステップS93は不要であり、これを省略した場合には図12の周波数特性が得られる。

【0104】クーロン摩擦補償電流演算手段13では、モータ角速度推定値 ω と車速 V_s から、ステアリング系のクーロン摩擦を補償し、低車速時のハンドル戻りやフリクション感を改善するためのクーロン摩擦補償電流目標値 I_c を演算している。これを図13のプロローチャートと図14に基づいて説明する。まず、S131で上記の如く演算されたモータ角速度推定値 ω と、所定の方法で演算された車速 V_s を読み込み、次に、S132でモータ角速度推定値 ω と車速 V_s から、所定のテーブルに従ってクーロン摩擦補償電流目標値 I_c を求め、最後にS133で、上記クーロン摩擦補償電流目標値 I_c をRAMにストアする。

【0105】 I_c を求めるテーブルは、例えば図14に示すように、モータ角速度推定値 ω が、所定の値 ω_1 以上になると、車速 V_s に応じて一定値にクリップされた電流 I_c が、 ω と同方向に流通するように構成する。ここで、電流のクリップ値 I_c 1はモータ1を接続する際により増加したステアリング系のクーロン摩擦を補償するトルクを発生し得るように設定する。

【0106】これにより、モータ1が運転者の操舵やタイヤのセルフアライニング等によって回転する

と、モータの回転方向に一定の電流が流通されることになり、ステアリング系のクーロン摩擦があたかも減少したかのようになり動作させることができ、ハンドル戻りやフリクション感を改善することが可能となる。なお、 I_c は車速にかかわらず一定値でもよいが、図14の如く、車速 V_s の増加とともに電流値を低減するようにテーブルを構成しおけば、後述する高車速時におけるハンドル戻り時の収斂性の悪化を防止し、かつ低車速時のハンドル戻りを改善することが可能となり、さらに操舵フィードバックが向上する。

【0107】また、上記しきい値 ω_1 に関しても、車速 V_s にかかわらず一定値でもよいが、車速に応じて変化させてもよく、例えば図14の如く車速 V_s の増加とともに ω_1 が増加するように設定すれば、高車速時のハンドルのふたつきを抑えることができる。

【0108】粘性摩擦補償電流演算手段14では、モータ角速度推定値 ω と車速 V_s から操舵フィードバックに粘性感を与え、特に高車速時ににおいて悪化するハンドル戻り時の収斂性を向上させるための粘性摩擦補償電流目標値 I_d を演算している。これを図15のプロローチャートと図16に基づいて説明する。

【0109】まず、S151で上記の如く演算されたモータ角速度推定値 ω と、所定の方法で演算された車速 V_s を読み込み、次に、S152でモータ角速度推定値 ω と車速 V_s から、所定のテーブルに従って粘性摩擦補償電流目標値 I_d を求め、最後にS153で、上記 I_d をRAM8cにストアする。

【0110】粘性摩擦補償電流目標値 I_d を求めるテーブルは、例えば図16のように、モータ角速度推定値 ω に比例した電流がモータ角速度推定値 ω と逆方向に流通されるように構成し、これにより、モータ1が運転者の操舵やタイヤのセルフアライニングトルク等によって回転し始めると、モータ角速度推定値 ω に比例した粘性摩擦補償電流目標値 I_d がモータ1の回転方向と逆方向に流通される。

【0111】この結果、ステアリング系の粘性摩擦があたかも増加したかのように動作させることができ、操舵フィードバックに油圧ワステアリングのような粘性感、反力感を与え、高車速時におけるハンドル戻り時の収斂性を改善することが可能となる。なお、ゲイン I_d/ω は車速 V_s にかかわらず一定値でもよいが、図16の如く、車速 V_s の増加とともに上記ゲインが増加するようにテーブルを構成しおけば、低車速時のハンドル戻りの悪化を防止し、かつ中高車速時ににおいて粘性感、反力感のあるしっかりした操舵フィードバックを与え、ハンドル戻り時の収斂性を改善することが可能となり、さらに操舵フィードバックが向上する。

【0112】粘性摩擦補償電流演算手段15では、慣性感を軽減する効果がある慣性補償電流の目標値 I_j を演算している。これを図17のプロローチャートと図18に基づ

いて説明する。まず、S171で上記の如く演算されたモータ角速度推定値 $d\omega/dt$ と、所定の方法で演算された車速 V_s を読み込み、次に、S172でモータ角速度推定値 $d\omega/dt$ と車速 V_s から、所定のテーブルに従って慣性補償電流目標値 I_j を求め、最後にS173で、慣性補償電流目標値 I_j をRAM8cにストアする。

【0113】慣性補償電流目標値 I_j を求めるテーブルは、例えば図18のようになり、モータ角速度推定値 $d\omega/dt$ に比例した電流がモータ角速度推定値 $d\omega/dt$ の方向に流通するように構成する。これにより、モータ1が運転者の操舵やタイヤのセルフアライニングトルク等によって回転し始めると、モータ角速度 $d\omega/dt$ に比例した慣性補償電流目標値 I_j がモータ1の加速方向に流通されることになる。従って、ステアリング系の慣性モーメントがあたかも減少したかのように動作させることができ、ステアリング系にモータ1が接続されたことによる操舵フィードバックの慣性感の悪化を改善することが可能となる。

【0114】ここで、一般に、操舵力補助電流演算手段9では、図42に示すとおり車速 V_s の増加とともに、運転者によりかかりした保力を与えるために、ゲイン s/V_t を減少させる。このため、車速 V_s が増加すると、保力力は増加するものの、ステアリング系の応答性が劣化するという弊害がある。そこで、ゲイン I_j/V_t （ $d\omega/dt$ ）は車速 V_s にかかわらず一定値でもよいが、例えば図16の如く、車速 V_s の増加とともにゲイン I_j/V_t （ $d\omega/dt$ ）が増加するようにテーブルを構成しおけば、上記のような応答性の劣化を補償することができ、応答性を劣化させることなく車速 V_s の増加とともに運転者によりかかりした保力を与えることができる。

【0115】また、上記ゲインを増加させると高車速時におけるハンドル戻り時の収斂性が悪化する場合には、逆に車速 V_s の増加とともにゲインが減少するようにテーブルを構成してもよい。

【0116】このようにして求められたクーロン摩擦補償電流目標値 I_c と、粘性摩擦補償電流目標値 I_d と、慣性補償電流目標値 I_j と、操舵トルクを合計し補助するための操舵力補助電流目標値 $I_{a^{**}}$ を加え、モータ目標電流 $I_{a^{**}}$ とし、これがモータ電流検出値 $I_{a^{**}}$ と一致するように電流制御手段10によってフィードバック制御し、モータ1を駆動する。

【0117】以上のように、本実施例では、モータ角速度推定値 ω をH/Wで検出したモータ印加電圧から推定する構成とし、モータ角速度推定値 ω からモータ角速度 $d\omega/dt$ を推定する構成が演算に構成通過特性を持たせたため、従来のようにサンプリング周波数を下げても正確にモータ角速度推定値 ω 、モータ角速度 $d\omega/dt$ を演算することができ、より安価なCPUを用い

ることができる。

【0118】また、モータ角速度推定値 ω をモータ電流 I_a に基づいて補正する構成としたため、電機子抵抗 R_a がモータ角速度推定値 ω に与える影響を従来装置と比べて低減することができる。また、モータ角速度推定値 ω に基づいてステアリング系のクーロン摩擦を補償する構成としたため、特に低車速時におけるハンドル戻り・フリクション感を従来装置と比べてコストアップすることなく、改善する事ができる。

【0119】実施例2、上記実施例1では、電機子抵抗 R_a に含まれる誤差がモータ角速度推定値 ω に与える影響を抑えるため、モータに大電流が流通される場合にモータ角速度推定値 $\omega=0$ にクリップしていたが、操舵トルクが大きい場合には速く操舵できないという考えに従い、操舵トルクが大きい場合にモータ角速度推定値 $\omega=0$ にクリップしてもよい。

【0120】その際、操舵トルク V_t が所定のしきい値を超える場合にモータ角速度推定値 $\omega=0$ としてもよいが、モータ角速度推定値 ω が急変することを避けるため、モータ角速度推定値 ω が急変するときに、モータ電流 I_a のかわりに操舵トルク V_t から補正係数 K_1 を求めるとよい。

【0121】一般に、電動パワステアリングコントロールの規格は、各車速 V_s における操舵補助電流目標値 I_s の最大値に対する誤差で与えられることが多い。従って、操舵トルク V_t が大きい場合にモータ角速度推定値 ω に基づいて操舵トルク V_t を乗ずる構成として、モータ角速度推定値 I_s に算入されて流通されると、モータ角速度推定値 ω のオフセットによって電動パワステアリングコントロールの規格を満たすことができなくなるとの問題が考えられる。本実施例では、上記のような問題を確実に防止することができる。

【0122】実施例3、上記実施例1及び2では、電機子抵抗 R_a に含まれる誤差がモータ角速度推定値 ω に与える影響を抑えるために、(4)式に基づいて求めたモータ角速度推定値 ω に補正係数 K_1 を乗ずる構成としていたが、モータ角速度推定値 ω を所定のしきい値 ω_1 以下にクリップする構成としても良い。図20は本実施例におけるモータ角速度演算手段11の動作を説明するフローチャートであり、図21は上記しきい値 ω_1 を説明する図である。

【0123】以下、本実施例におけるモータ角速度演算手段11の動作を、図20のフローチャートに基づいて説明する。最初に、S201でモータ印加電圧検出値 $V_{a^{**}}$ とモータ電流検出値 $I_{a^{**}}$ をA/D変換したデータを読み込み、S202で定義データである電機子抵抗 R_a と、モータ線抵抗定数 K_e をROM8bから読み込み、S203で(4)式に基づいてモータ角速度推定値 ω を演算する。

【0124】次にS204で所定のテーブルを参照し、

することができる。

【0142】実施例11. 上記実施例1では、モータ角速度推定値 ω に基いてステアリング系のクーロン摩擦を補償する構成としていた。つまり、モータが回転し始めなれば摩擦を補償する電流は逆流されず、静止摩擦は補償されていなかった。そのため、運転者によっては、特に低速時のハンドル戻りを不自然に感じることがあった。この発明においては舵角を検出する手段を具備しないため、静止摩擦を完全に補償することは不可能であるが、モータ角速度推定値 ω の概分値に基いて静止摩擦補償電流を演算する構成とすれば、静止摩擦の影響を緩和することができる。

【0143】図31は本実施例における静止摩擦補償値をブロック図で表したものであり、図32はS/Wの動作を説明するフローチャートである。以下、図32のフローチャートを基に動作を説明する。まず図321でモータ角速度推定値 ω と車速V s を読み込む。次に、S322でモータ角速度推定値 ω を微分処理し、立ち上がりエッジを抽出する。ここで、微分処理されたモータ角速度推定値 ω を ω_{edg} とする。最後にS323で、 ω_{edg} とV s から、所定のテーブルに従って静止摩擦補償電流目標値I f を求め、S324で静止摩擦補償電流目標値I f をRAM8cにストアする。

【0144】静止摩擦補償電流目標値I f を求めるテーブルは、例えば図33に示すように、 ω_{edg} が、所定の値 ω_{edg1} 以上になると、V s に応じて一定値にクリップされた電流 ω_{edg} と同方向に流通されるように構成する。ここで、電流のクリップ値I $f1$ はモータを接続する事により増加したステアリング系の静止摩擦を補償するトルクを発生し得るように設定する。

【0145】これにより、モータが運転者の操作やタイヤのセルフアライニング動作等によって回転し始めるときに、モータの回転方向に短時間電流が流通されることとなり、ステアリング系の静止摩擦があたかも減少したかのように動作させることができ、上記実施例1よりもさらにハンドル戻りやフリクション感を改善することが可能となる。

【0146】なお、静止摩擦補償電流目標値I f は車速V s にかかわらず一定値でもよいが、図33の如く、車速V s の増加とともに電流値を低減するようにテーブルを構成しておけば、高車速時におけるハンドル戻りの収斂性の悪化を防止し、かつ低速時のハンドル戻りを改善することが可能となり、さらに操舵フィーリングが向上する。

【0147】また、上記しきい値 ω_{edg1} に関しても、車速V s にかかわらず一定値でもよいが、車速V s に応じて変化させてもよく、例えば図33の如く車速V s の増加とともに ω_{edg1} が増加するように設定すれば、高車速時のハンドルのふらつきを抑えることができる。

50

性摩擦補償電流演算手段14に与えられればよい。上記ローパスフィルタのカットオフ周波数は、モータ角速度推定値 ω とモータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ の位相差が問題となる周波数に設定しておけばよく、例えば上記fc2と略同一に設定しておけば良い。これによりモータ角速度推定値 ω とモータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ の位相が揃うことを防止することができ、その結果、各補償電流の位相関係を正常に保つことができる。

【0136】実施例8. モータ電流検出値I a^{***} に含まれる雑音等に起因して、モータ角速度推定値 ω に不要な交流成分が含まれる場合には、モータ角速度推定値 $d\omega/dt$ にも雑音が含まれ、モータ角速度演算手段12の周波数特性を変更しても、その雑音を除去できない場合がある。このような場合、図27に示すとおり、実施例1の如く演算したモータ角加速度推定値 $(= (d\omega/dt) \cdot \tau)$ が所定のしきい値以下のときには、 ω を0にクリップする構成とすれば、上記の問題は解決できると考えられる。

【0137】本実施例の如くモータ角加速度を演算すれば、モータ角加速度演算手段12の高域遮断特性によって除去できない雑音成分を除去でき、ハンドルの中立付近でのふらつき等の問題を解決することができる。

【0138】実施例9. 上記実施例1では、モータ角速度推定値 ω が、所定の値 ω_1 以上になると、車速V s に応じて一定値にクリップされた電流I c が、モータ角速度推定値 ω と同方向に流通されるように構成していた。ここで、モータ角速度推定値 ω に雑音が含まれることを考慮すれば、 ω_1 は大きい方が駆動動作が少なくなると考えられる。しかし、 ω_1 が大きすぎれば、ステアリング系のクーロン摩擦は十分補償されず、例えば低速時にハンドルが中立位置まで戻りきらない等の問題を生ずる。このような場合、図28の如く、しきい値 ω_1 にヒステリシスを設ければ良い。

【0139】本実施例の如くクーロン摩擦補償電流目標値I c を演算すれば、低速時のハンドル戻りを劣化させることなく、モータ角速度推定値 ω の雑音成分がI c に影響を与えることを防止することができる。

【0140】実施例10. 上記実施例1では、モータ角速度推定値 ω が、所定の値 ω_1 以上になると、車速V s に応じて一定値にクリップされた電流I c が、モータ角速度推定値 ω と同方向に流通されるように構成していたが、車速V s とモータ角速度推定値 ω に応じてゲインI c/ω を変化させても良い。

【0141】例えば図29の如く、 $\omega=0$ 付近でのI c をモータ角速度推定値 ω に対して所定のゲインで増やして立ち上げるように設定すれば、ハンドルの中立付近でのモータ目標電流の急変を防止することができ、ハンドルのふらつき等の問題を防ぐことができる。また、例えば図30の如く、 $\omega=0$ 付近でI c が大きくなるように設定すれば、ステアリング系の静止摩擦の影響を若干緩和

【0130】実施例5. 実施例1～4の如くモータ角速度推定値 ω のオフセットを補正しても、完全には補正できず、オフセットが残る場合がある。このような場合には、実施例1～4の如く演算したモータ角速度推定値 $(=\omega_{***})$ を所定のカットオフ周波数でハイパスフィルタ処理後、モータ角速度推定値 ω としてもよい。これにより、モータ角速度推定値 ω のオフセットは完全に除去する事ができる。

【0131】しかし、このとき、モータが一定速度で回転しているにもかかわらず、モータ角速度推定値 $\omega=0$ となるため、カットオフ周波数を低くしても、クーロン摩擦が十分補償されないことが懸念される。従って、クーロン摩擦特に問題となる場合には、図23の如く、クーロン摩擦補償電流演算手段13にはハイパスフィルタ処理前の ω を加算を与え、粘性摩擦補償電流演算手段14にはハイパスフィルタ処理後のモータ角速度推定値 ω を与える構成としてもよい。

【0132】実施例6. 実施例1～5で述べた方法でモータ角速度推定値 ω を補正後に、モータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ を演算してもよいが、数分演算によってオフセットは除去されるため、図24の如く、クーロン摩擦補償電流演算手段13と粘性摩擦補償電流演算手段14にはモータ角速度推定値補正手段17にて、実施例1～5のようにモータ角速度推定値 ω を補正した後に与え、モータ角加速度演算手段12にはモータ角速度推定値 ω を補正前に与えても良い。これにより、モータ角速度推定値 ω の補正によってモータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ が電圧影響を受けることを防止することができる。

【0133】実施例7. 実施例1のようにモータ角速度演算手段12が帯域通過特性を有する場合には、モータ角速度 ω の周波数が比較的低い場合には問題ないが、周波数が高くなるとモータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ の位相がまわると、モータ角速度推定値 ω とモータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ の位相差が0に近づいてしまう。正弦波状に操舵した場合を例にとり、図25に上記問題を図示する。

【0134】位相差が0に近づくと周波数がステアリング系の応答周波数よりも十分高ければ(例えば10数Hz)これは問題ないが、モータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ の雑音を抑える等の理由で上記fc2を低く(例えば5Hz)設定しなければならぬ場合には問題となる。例えば、モータ角速度推定値 ω とモータ角加速度推定値 $d\omega/dt$ の位相が増えれば、モータ角速度推定値 ω に比し粘性摩擦補償電流目標値I d と粘性補償電流目標値I j が打ち消し合うことになり、補償電流が流通されなくなってしまう。

【0135】上記問題を解決するためには、図26に示すように、実施例1～6の如く求められたモータ角速度推定値 ω をさらにローパスフィルタ処理して位相を遅らせた後、クーロン摩擦補償電流演算手段13あるいは粘

50

S201にて読み込んだモータ電流検出値I a^{***} からしきい値 ω_{TH} を求め、S205、S206、S203にて求めたモータ角速度推定値 ω を上記 ω_{TH} 以下にクリップする。最後にS207でモータ角速度推定値 ω をRA M8cにストアする。

【0125】ここで、I $a^{***}=\omega_{TH}$ でテーブルおよび ω_{TH} について、詳しく説明する。(4)式に基づいてモータ角速度推定値 ω を演算する場合、(5)式で示したように、電機子抵抗R a の影響によって生じるモータ角速度推定値 ω の誤差は、モータ電流目標値I a に比例する。そこで、(4)式から求めたモータ角速度 ω を、モータ電流検出値I a^{***} の増加に伴って0に近づきしきい値 ω_{TH} 以下にクリップしておけば、モータ電流目標値I a が大きい場合のモータ角速度推定値 ω のオフセットを除去することができると考えられる。

【0126】ここで、一般にモータ1に印加する電圧が一定ならば、モータ電流目標値I a とモータ角速度 ωm には、図8に示すようにモータ電流目標値I a の増加とともにモータ角速度 ωm が減少する関係がある。ゆえに、しきい ω_{TH} は、モータ電流検出値I a^{***} が0のときに、モータを無負荷でデューティ比100%駆動時の角速度 ω_{max} より大きくし、少なくともモータ電流検出値I a^{***} がロック電流I $m a x$ と等しいときには0になるということを目安に、実験的に設定しておけばよい。

【0127】なお、本実施例においても、電流制御手段10の応答性が十分速い場合には、モータ電流検出値I a^{***} のかわりにモータ電流目標値I a を用いても良い。また、モータ電流目標値I a またはモータ電流検出値I a^{***} のかわりに、実施例2のごとく、操舵トルクV t を用いて ω_{TH} を求めても良いことはいままでもない。

【0128】実施例4. 実施例1～3の如くモータ角速度推定値 ω のオフセットを補正しても、モータ電流目標値I a が比較的小さいときにはモータ角速度推定値 ω の演算結果に電機子抵抗R a の影響が現れる場合がある。ところが、上記のとおり、電機子抵抗R a の影響がモータ角速度推定値 ω に与える影響はモータ電流目標値I a に比例するため、このようなオフセットは比較的小さい(例えば2～3ビット)と考えられる。そこで、図22に示すとおり、実施例1～3の如く演算したモータ角速度推定値 $(=\omega_{***})$ が所定のしきい値 ω_{TH} 以下になると、 ω を0にクリップする構成とすれば、上記の問題は解決できると考えられる。

【0129】本実施例の如くモータ角速度を演算すれば、モータ電流が比較的小さい場合に現れるモータ角速度推定値 ω のオフセットを除去でき、特に、微小操舵時に、モータ角速度推定値 ω のオフセットにより粘性摩擦補償電流目標値I d が大きくなり、フリクション感が増大するという問題を解決する事ができる。

タ角加速度推定値と、慣性補償電流との関係を説明する図である。

【図3 7】 この発明の一実施例による制御装置のH/W構成図である。

【図3 8】 この発明の一実施例による制御装置のモータ端子電圧検出回路の直流特性を示す図である。

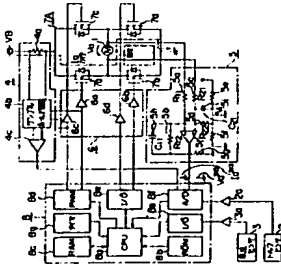
【図3 9】 この発明の一実施例による制御装置のモータ端子電圧検出回路の周波数特性を示す図である。

【図4 0】 この発明の一実施例による制御装置のモータ端子電圧を演算する方法を説明するフローチャートである。

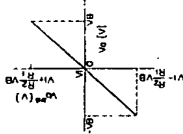
【図4 1】 従来の制御装置の構成を表すブロック図である。

【図4 2】 この発明と従来の制御装置の機械トルクと操舵力補助電流との関係を説明する図である。

【図 1】



【図 3】



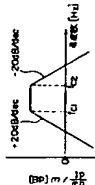
【図 4 3】



【図 8】



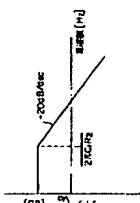
【図 1 1】



【図 7】



【図 4】



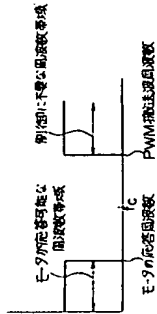
【図4 3】 直流モータの電機子の嵌込回路である。

【図4 4】 直流モータをPWM駆動した場合のモータ印加電圧とモータ電流との関係を示した波形図である。

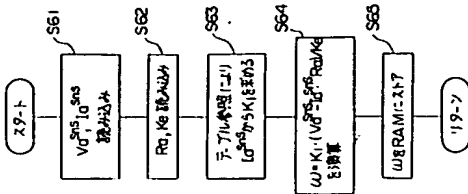
【符号の説明】

1 モータ、2 トルクセンサ、3 直速センサ、4 モータ電流検出回路、5 モータ印加電圧検出回路、6 H形ブリッジ回路駆動回路、7 H形ブリッジ回路、8 マイクロコンピュータ、9 操舵力補助電流演算手段、10 モータ電流制御手段、11 モータ角速度演算手段、12 モータ角加速度演算手段、13 クローン補償電流演算手段、14 粘性摩擦補償電流演算手段、15 慣性補償電流演算手段、17 モータ角速度推定補正手段、18 ローパスフィルタ、19 微分手段、20 静止摩擦補償電流演算手段、21 モータ端子電圧検出回路。

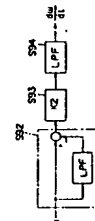
【図 5】



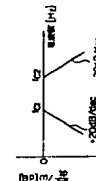
【図 6】



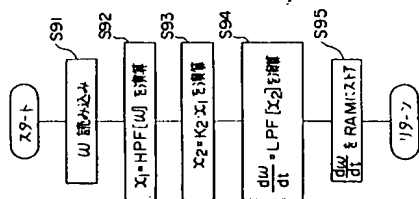
【図 1 0】



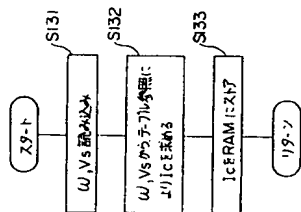
【図 1 2】



【図9】



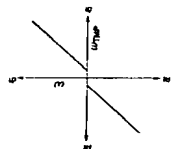
【図13】



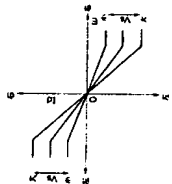
【図19】



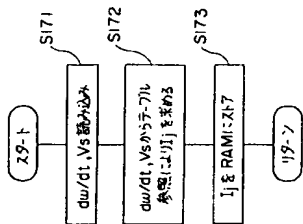
【図22】



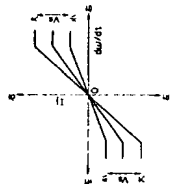
【図16】



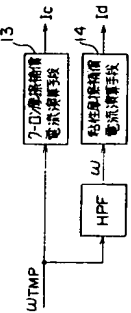
【図17】



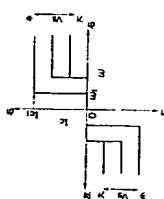
【図18】



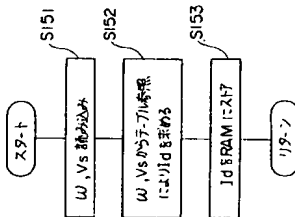
【図23】



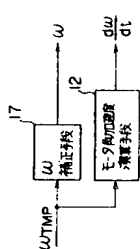
【図14】



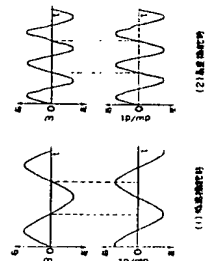
【図15】



【図24】



【図25】

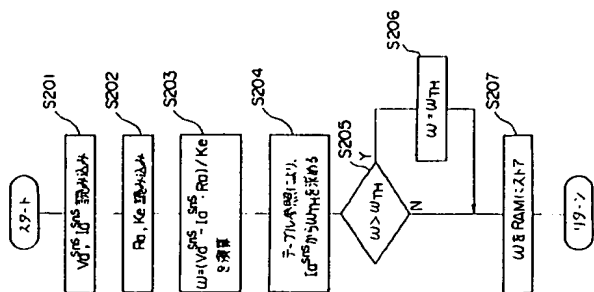


【図21】

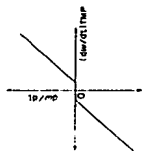


17: ω 検出手段

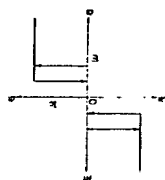
【図20】



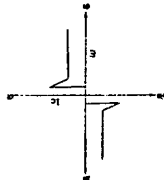
【図27】



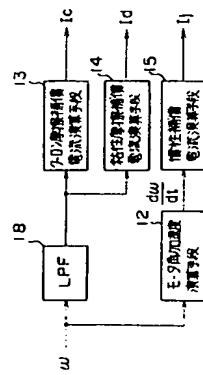
【図28】



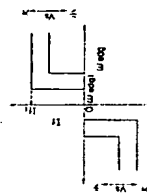
【図30】



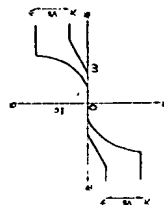
【図26】



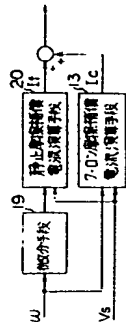
【図33】



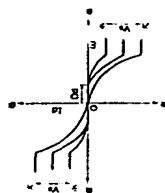
【図29】



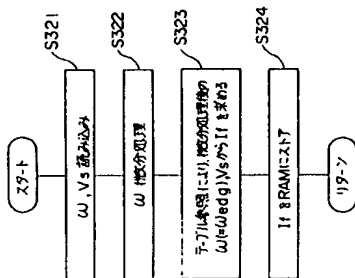
【図31】



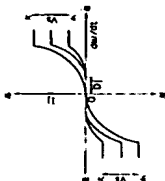
【図35】



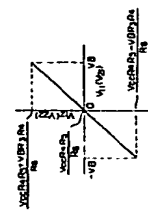
【図32】



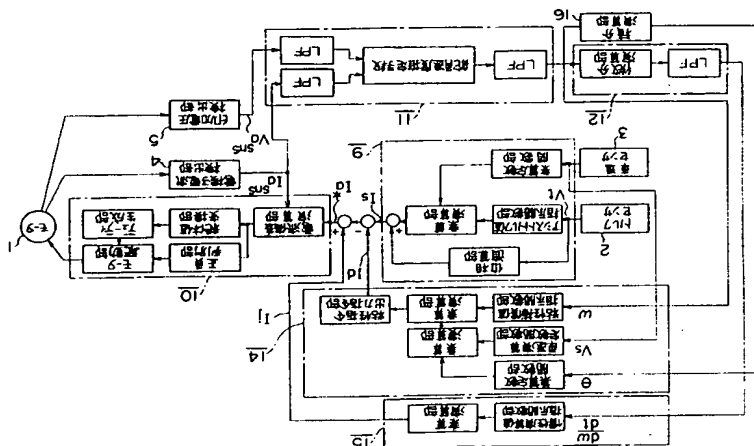
【図36】



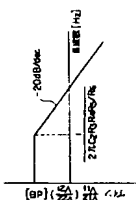
【図38】



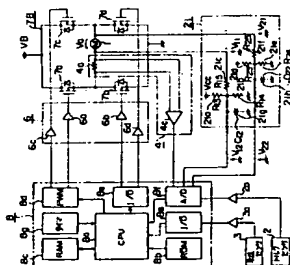
【図41】



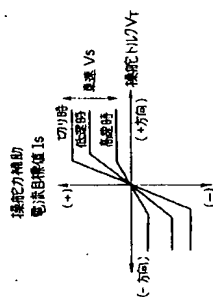
【図39】



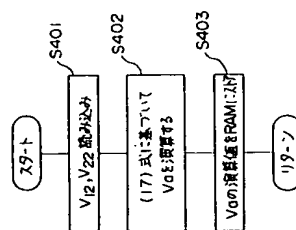
【図37】



【図42】



【図40】



【図44】

